

Sami Stenvall

SIIRRETTÄVÄN HIEKKAPUHALLUS- JA MAALAUSTELINEEN
SUUNNITTELU

KONE- JA TUOTANTOTEKNIIKAN koulutusohjelma
2016

SIIRRETTÄVÄN HIEKKAPUHALLUS- JA MAALAUSTELINEEN SUUNNITTELU

Stenvall, Sami
Satakunnan ammattikorkeakoulu
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma
Huhtikuu 2016
Ohjaaja: Kivi, Karri
Sivumäärä: 31
Liitteitä: 2

Asiasanat: FEM, suunnittelu, telineet

Opinnäytetyön aiheena oli suunnitella siirrettävä hiekkapuhallus- ja maalausteline Email Oy:lle. Telineen suunnittelussa oli otettava huomioon työvaiheidenvaatimukset, turvallisuusvaatimukset ja siirrettävyysvaatimus. Opinnäytetyön laajuuteen kuului telineen teettämisessä tarvittavien aineistojen luonti.

Työ aloitettiin vaatimusten kartoittamisella. Vaatimukset kartoitettiin haastatteleamalla työvaiheiden työntekijöitä, työnjohtajia ja telineen valmistajaa. Turvallisuusvaatimukset otettiin huomioon soveltamalla koneturvallisuusstandardia SFS-EN ISO 14122.

Vaatimusten perusteella valittiin alustavat materiaalit, joiden perusteella telineestä luotiin alustava 3D-malli. Mallia päivitettiin yhdessä työvaiheiden työntekijöiden kanssa, jotta työvaiheiden vaatimukset tulivat varmasti otettua huomioon.

Telineen lujoustarkastelu suoritettiin Solidworksin FEM-analyysillä. Laskennassa kuormituksina käytettiin koneturvallisuusstandardin mukaisia kuormituksia ja siirrossa telineen omasta painosta aiheutuneita kuormituksia. Tarkastelun perusteella telineen runkoa vahvistettiin.

Lopuksi telineestä piirrettiin työkuvat, jotka hyväksyttiin telineen valmistajalla. Telineen käytöstä ja kunnossapidosta laadittiin ohje.

Työn lopputuloksena syntyi vaatimusten mukaisen siirrettävän hiekkapuhallus- ja maalaustelineen valmistuttamiseen tarvittava tekninen aineisto.

DESIGN OF MOVABLE WORKING PLATTFORM

Stenvall, Sami

Satakunnan ammattikorkeakoulu, Satakunta University of Applied Sciences

Degree Programme in Mechanical Engineering

April 2016

Supervisor: Kivi, Karri

Number of pages: 31

Appendices: 2

Keywords: FEM, Design, Working platforms

The subject of this thesis was to design a movable sandblasting and painting platform for Ermail Oy. Requirements of users, portability of the platform and safety had to be taken into account. The scope of the thesis was to create the technical drawings and the technical documentations required for manufacturing of the platform.

The work was started by gathering requirements. Requirements were gathered by interviewing employees, supervisors and manufacturer. Safety were taken into account in platform design by applying machine safety standard SFS-EN ISO 14122.

Preliminary materials for the platform design were selected on the basis of the requirements. To make sure that the platform fulfills operation requirements the design was updated along with employees.

The strength of the platform was analyzed with Solidworks simulation finite element analysis (FEA). Forces that were used in the analysis were obtained from the machine safety standard. In lifting situation gravitational force was applied to platform. Design of the platform was reinforced based on the analysis result.

Finally the design was approved by the manufacturer of the platform. Also the use and maintenance instructions were made.

The thesis outcome was a design that fulfils requirements. All required documentations for manufacturing were made.

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	5
2	TOIMEKSIANTAJAN ESITTELY	5
3	TIETOJEN KERUU	6
3.1	Käyttötietojen kartoitus.....	6
3.2	Standardin vaatimukset	7
4	MATERIAALIEN VALINTA	10
4.1	Runkomateriaalin valinta	10
4.2	Lattiapinnan materiaalin valinta	11
4.3	Rappusmateriaalin valinta.....	11
4.4	Kaidemateriaalin valinta	12
5	TELINEEN PINTAKÄSITTELY	12
6	3D-MALLINNUS	13
7	ELEMENTTIMENETELMÄ	14
7.1	Elementtimenetelmän esittely	14
7.2	Joitakin elementtityyppejä	14
7.3	Ristikkorakenne	15
7.4	Kehärakenne	16
8	FEM-ANALYYSI.....	17
8.1	Tasainen kuormitus rungolle.....	19
8.2	Pistekuormitus rungolle	21
8.3	Nostokuormitus rungolle	22
8.4	Pistekuormitus kaidetolpan yläpäähän.....	24
8.5	Pistekuormitus käsijohteelle	25
9	HITSAUSLIITOSTEN MITOITTAMINEN	25
10	TYÖKUVIEN PIIRTÄMINEN	25
11	KEHITYSAJATUS	26
12	YHTEENVETO	28
	LÄHTEET.....	29
	LIITTEET	

1 JOHDANTO

Ermail Oy:n Eurajoen toimipisteessä pintakäsittelään murskaimen runkoja. Runkojen pintakäsittelyprosessi sisältää suihkupuhdistus- ja ruiskumaalausvaiheet. Runkojen korkeudesta johtuen suihkupuhdistus- ja ruiskumaalausvaiheessa työ on suoritettava telineeltä. Työturvallisuuden parantamiseksi ja työvaiheiden asetusajkojen lyhentämiseksi yrityksessä päätettiin investoida räätälöityyn siirrettävään telineeseen.

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on luoda telineen teettämisessä tarvittava suunnitteluaineisto. Telineen suunnittelussa otetaan huomioon työvaiheiden vaatimukset, valmistusmenetelmien vaatimukset sekä viranomaisvaatimukset. Työvaiheiden vaatimukset selvitetään haastatteleamalla työvaiheiden työntekijöitä ja heidän esimiehiään. Viranomaisvaatimukset tulevat huomioiduiksi soveltamalla konestandardin SFS-EN ISO 14122 vaatimuksia.

Opinnäytetyössä valitaan alustavasti siirrettävän telineen materiaalit joiden perusteella mallinnetaan telineen 3D-malli käyttäen Solidworks-suunnitteluohjelmistoa. Mallin perusteella arvioidaan telineen soveltuvuus suihkupuhdistus- ja ruiskumaalustyövaiheisiin. Hyväksytylle mallille suoritetaan lujuusanalyysi Solidworksin FEM-analyysityökalulla.

Valmiin mallin pohjalta tuotetaan valmistuksessa tarvittavat työpiirustukset. Työpiirustukset katselmoidaan yhdessä valmistajan kanssa.

2 TOIMEKSIANTAJAN ESITTELY

Ermail Oy tuottaa pintakäsittelypalveluita alihankintana. Asiakkaina ovat lähes kaikki Rauman talousalueen merkittävimmät teknologiateollisuuden päämies- ja alihankkijayritykset, kuten esimerkiksi Rolls-Royce Oy Ab, Steerpop LTD ja Aslemetals Oy. Merkittävänä asiakkaana on myös Tamperelainen Metso Minerals Oy, jonka kanssa on tehty yhteistyötä jo vuodesta 1997.

Ermail Oy on saanut alkunsa vuonna 1989, jolloin sen perustivat Jussi Seikkula, Marko Jalonen ja Esko Jalonen. Alussa toimintaa pyöritettiin yrittäjien voimin Eurajoella. Vuosien saatossa toiminta on jatkuvasti kasvanut ja viime vuonna toimintaa laajennettiin Raumalle Seaside Industry Parkin yrityspuistoon. Nykyään yritys työllistää jo lähes 30 henkilöä.

Raumalainen konepaja Aslemetals Oy valmistaa alihankintana Metso Mineralsille murskaimien runkoja, jotka pintakäsittellään Ermail Oy:n Eurajoen toimipisteessä. Tämä pintakäsittely koostuu suihkupuhdistuksesta ja ruiskumaalauksesta.

Metso Mineralsin kanssa on kehitetty yhteistyössä konsepti, jossa valmiit murskaimet toimitetaan Tampereelta Eurajoelle viimeisteltäväksi. Ermailin vastuulla on valmiiksi kokoonpannun koneen hyväksyminen ja tarvittaessa korjaavien pintakäsittelyjen suorittaminen. Vuosittain Ermailin kautta valmiita koneita lähetetään suoraan maailmalle noin 250kpl.

3 TIETOJEN KERUU

3.1 Käyttötietojen kartoitus

Ennen telineen suunnittelun aloittamista kartoitettiin eri tekijöistä aiheutuvat vaatimukset. Suihkupuhdistajaa, maalaria, työnjärjestelijää ja valmistajaa haastateltiin ja kirjattiin ylös kaikkien esittämät toiveet ja vaatimukset.

Suihkupuhdistuksessa ja ruiskumaalauksessa on huomioitava:

- Telineelle on hyvä nousta suihkupuhdistusletkun kanssa
- Letkun esteetön liike
- Suihkupuhallusraetta ei keräänny telineeseen
- Etäisyys käsiteltävään kappaleeseen 300-600 mm
- Liukkaus talvella
- Mahduttava maalaushallin 8 m leveästä ovesta

Siirrettävyydestä on huomioitava:

- Siirrettävissä 7,5 t trukilla
- Ei saa kipata siirrettäessä
- Kestettävä trukilla nosto ja siirto

Valmistettavuudesta on huomioitava:

- Käytettävät valmistusmenetelmät
- Työvaiheissa tarvittavat piirustukset
- Käytettävän materiaalin tiedot
- Telineen kuljetus käyttöpaikalle

3.2 Standardin vaatimukset

Telineen suunnittelussa sovellettiin koneturvallisuus standardia SFS-EN ISO 14122. Standardi on tarkoitettu koneiden kiinteille kulkuteille. Siirrettävä teline ei täysin kuulu standardin soveltamisalaan, mutta itse käyttötilanne on hyvin lähellä standardin käyttötarkoitusta, joten standardia käytettiin soveltuvien osien hyväksi suunnittelutyössä.

Standardin (SFS-EN ISO 14122-2 + A1, 10-16) vaatimukset:

Työskentelytasot on suunniteltava ja rakennettava sellaiseksi, että ne kestävät ennakoitavissa olevat käyttöolosuhteet.

Yleiset vaatimukset:

- Rakenneosien on oltava riittävän jäykkiä ja vakaita
- Korroosionkesto on otettava huomioon
- Rakenneosiin ei saa kertyä vettä
- Käytettävien materiaalien on oltava keskenään yhteensopivia
- Työergonomia on otettava huomioon
- Rakenne on suunniteltava estämään putoavista esineistä aiheutuvat vaarat
- Kaikki kohdat, joiden kanssa käyttäjät mahdollisesti joutuvat kosketuksiin, on suunniteltava sellaiseksi, että käyttäjä on suojattu vammoja vastaan

- Kävelypinnoilla on pysyvät liukastumista estävät ominaisuudet
- Käyttäjän putoaminen on estettävä
- Käsijohteet on suunniteltava siten, että niitä käytetään vaistomaisesti

Erityisvaatimukset:

- Työkohteiden on oltava mahdollisuuksien mukaan 500 mm ... 1700 mm korkeudella työskentelytason pinnasta

Käyttöön ja kunnossapitoon tarkoitettujen työskentelytasojen vapaa pituutta ja leveyttä määriteltäessä on otettava huomioon seuraavat seikat:

- Työtehtävän vaatimukset
- Kuljetettavat työkalut
- Työtehtävien ja tason käytön taajuus ja kesto
- Samanaikaisten käyttäjien lukumäärä
- Kohtaavatko käyttäjät
- Käytettävät suojavaatetukset ja henkilösuojaimet
- Loukkaantuneiden henkilöiden pois kuljettaminen on huomioitava
- Työliikkeiden esteettömyys ja tilan tarve
- Ei poikkeuksellisissa olosuhteissa kulkutason vapaan leveyden on oltava vähintään 600 mm, mutta mieluummin 800mm.
- Yli 500 mm korkeudella olevat tasot on varustettava suojakaiteilla

Lattiapinnat:

- Lattiapinnoille ei saa kerääntyä nesteitä
- Lattiapinnoille ei saa kertyä likaa, lunta, jäätä tai muita aineita.
- Kompastumisvaarojen välttämiseksi lattiapinnoilla ei saa olla yli 4mm kynnystä
- Lattiapinnasta ei saa päästä putoamaan 35 mm suuruinen kuula
- Työskentelypaikkojen yläpuolella olevasta lattiasta ei saa päästä putoamaan 20 mm suuruinen kuula
- Lattiapinnan on oltava liukastumisvaraa vähentävä
- Työskentelytasojen teknisissä tiedoissa on kerrottava kuorma, jolle ne on suunniteltu

- Työskentelytason mitoituksessa käytettävät vähimmäiskuormat:
 - rakenteeseen tasaisesti kohdistuva kuormitus 2 kN/m^2
 - epäedullisimpaan kohtaan kohdistettava $1,5 \text{ kN}$ kuorma jakautuneena $200 \text{ mm} \times 200 \text{ mm}$ suuruiselle alueelle
- Työskentelytasojen lujuus on todennettava laskelmilla tai testeillä

Koneturvallisuusstandardin (SFS-EN ISO 14122-3 + A1, 14-16) lisävaatimukset porrastikkaille:

- Portaiden askelmien ja tukirakenteen on kestävä niille tarkoitetut kuormitukset
- Tukirakenteeseen vaikuttava kuormitus voi vaihdella välillä $1,5 \text{ kN/m}^2 \dots 5 \text{ kN/m}^2$
- Alle 1200 mm levyisten portaiden yhden askelman on kestävä $1,5 \text{ kN}$ kuorma jakautuneena $100 \text{ mm} \times 100 \text{ mm}$ alueelle
- Rakenteen ja askelmien välinen muodonmuutos ei saa ylittää $1/300$ jännevälistä tai 6 mm
- Etenemän ja nousun on täytettävä yhtälö:

$$600 \text{ mm} \leq \text{etenemä} + 2 \times \text{nousu} \leq 660 \text{ mm}$$
- Askelmien limityksen on oltava vähintään 10 mm
- Jos on mahdollista, niin nousun on oltava vakio. Liikuvissa kohteissa ensimmäisen askelman nousua voidaan tarvittaessa suurentaa.
- Portaiden leveyden on oltava vähintään 600 mm , mieluummin 800 mm
- Yhtäjaksoinen nousukorkeus ei saa ylittää 3000 mm
- Askelmien minimi syvyys on 80 mm
- Maksimi nousu on 250 mm
- Askelmien limityksen on oltava vähintään 10 mm

Standardin (SFS-EN ISO 14122-3 + A1, 18-20) lisävaatimukset suojakaiteille:

- Käsijohteen korkeuden on oltava vähintään 1100 mm
- Suojakaiteessa on oltava vähintään yksi välijohde
- Välijohteen vapaan tilan mitta käsijohteeseen tai jalkalistaan ei saa olla yli 500 mm
- Kaidetolppien välinen etäisyys tulisi olla korkeintaan 1500 mm. Jos väli on tätä pidempi, on kiinnitettävä erityishuomiota kaidetolppien lujuuteen.
- Käsijohteen päissä ei saa olla teräviä reunoja
- Vaatteet eivät saa takertua käsijohteiden päihin

Lisäksi suojakaiteen on kestävä vaakasuurassa vaikuttava pistevoima F_{\min} , joka kohdistuu kaidetolpan yläpäähän. Lisäksi käsijohteen epäedullisimman kohdan on kestävä sama vaakasuurassa pistevoima F_{\min} . Hyväksymiskriteerinä on, että taipuma ei kuormitettuna ylitä 30 mm, eikä kuorman poistamisen jälkeen rakenteeseen ole tullut pysyviä muodonmuutoksia. Voima F_{\min} määritellään seuraavasti: $F_{\min} = 300\text{N/m} \times$ kahden peräkkäisen kaidetolpan keskiakselin suurin etäisyys metreinä.

(SFS-EN ISO 14122-3 + A1, 26)

4 MATERIAALIEN VALINTA

Materiaalien valinta tehtiin kahdessa osassa. Ensin valittiin alustavasti materiaalit, joiden pohjalta laadittiin alustava 3D-malli. Alustavaa mallia FEM-analysoitiin vaatimusten mukaisilla kuormilla. Analyysin perusteella valittiin lopullisessa rakenteessa käytettävät materiaalit.

4.1 Runkomateriaalin valinta

Yrityksessä on hyvä nostokalusto. Telineen siirto tapahtuu tuotannossa trukilla. Siirtämiseen käytössä olevan trukin nostokapasiteetti on 7500 kg. Hyvän nostokapasiteetin ansiosta telineelle ei asetettu tiukkaa painovaatimusta.

Telineen rungon materiaaliksi valittiin neliskanttinen rakenneputki. Vertaamalla keskenään lähes yhtä lujia neliöputkipalkkeja $40 \times 40 \times 2$ S355 (4,2 €/m ja 2,4 kg/m), ja $50 \times 50 \times 2$ S235 (5,3 €/m ja 3,0 kg/m) havaitaan että rakenne tulee halvemmaksi ja kevyemmäksi valmistaa laadusta S355. (Onninen Oy www-sivut 2015)

Noin kymmenen prosenttia heikompi neliöputkipalkki $50 \times 50 \times 3$ 6060 T6 alumiinista (27,1 €/m ja 1,5 kg/m) kasvattaisi materiaalikustannukset moninkertaiseksi teräsrakenteeseen nähden. Rakenneteräksestä S355 valmistettua rakennetta lujuusominaisuuksiltaan vastaava alumiinirakenne tulisi noin 30 % kevyemmäksi. Alumiini kestää terästä huomattavasti huonommin suihkupuhdistusprosessin pintaa kuluttavaa vaikutusta. (VS-Partners Oy www-sivut 2016)

Materiaalin laaduksi valittiin hyvin saatavilla oleva ja hyvin hitsattavissa oleva S355J2H. Alustavasti rungon yläkehikon neliöputkipalkin kooksi valittiin $60 \times 60 \times 3$. Alustavasti jalkojen neliöputkipalkin kooksi valittiin $80 \times 80 \times 4$.

4.2 Lattiapinnan materiaalin valinta

Lattiamateriaaliin kohdistuvat lujuus-, liukkaus- ja partikkelien keräämättömyysvaatimukset täyttävä vaihtoehto on puristehitsattu ritilä. Ritilän rakenne muodostuu teräslatasta ja sideteräksestä.

Ritilän koon valinnassa käytettävä kantavuusvaatimus asettuu $2,0 \text{ kN/m}^2 \dots 5,0 \text{ kN/m}^2$ välille. Valitsemalla 30×3 kantoteräksellä ja 34mm kantoterästen jaolla oleva HAK-34 \times 75/30 \times 3 saadaan 5 kN/m^2 kuormituksella ja alle 1/200 osa jännevälistä taipumalla suurimmaksi ritilän vapaaksi jänneväliksi 1600 mm.

(Suomen Teräsrtilä Oy www-sivut 2016)

4.3 Rappusmateriaalin valinta

Alustavasti askelmaksi valittiin 300×160 ritiläaskelma. Alustavaksi sivujen materiaaliksi valittiin L-profiilipalkki $100 \times 50 \times 6$ S235.

4.4 Kaidemateriaalin valinta

Hyvien lujuus-, hitsattavuus- ja saatavuusominaisuuksien perusteella alustavaksi kaidemateriaaliksi valittiin kaideputki S235 33,7×3,0mm. (Onninen Oy www-sivut 2016)

5 TELINEEN PINTAKÄSITTELY

Telineen maalausjärjestelmäksi valittiin EP160/2 FeSa2½. Maalausjärjestelmä täyttää rasitusluokan C3 medium vaatimukset. (Nor-Maali Oy www-sivut 2016)

Teline päätettiin maalata hyvin havaittavalla keltaisella värillä.

Telineen maalausjärjestelmä

Teräspintojen pintakäsittely

- Pinnan suihkupuhdistus Sa2½
- Pohjamaali EPOCOAT 21 Primer valkoinen 1×80 µm
- Pintamaali NORMADUR 65 HS RAL 1021 1×80 µm

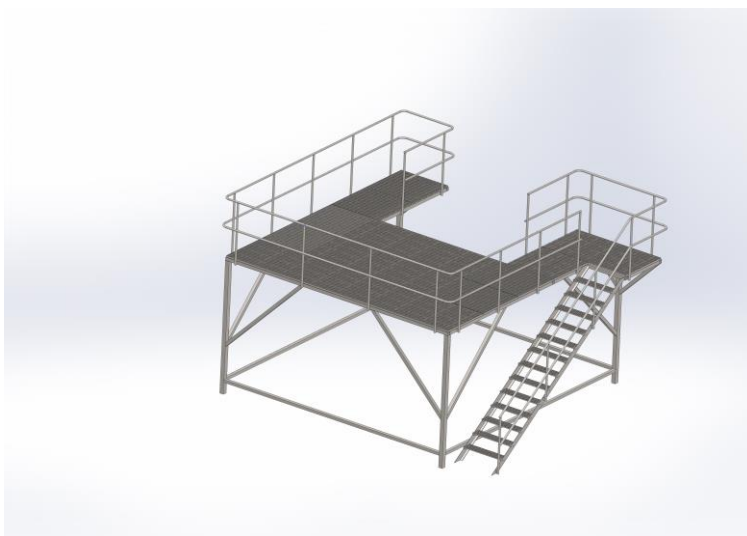
Sinkkipintaiset lattiaritilät ja askelmat

- Pinnan pyyhkäisysuihkupuhdistus SaS
- Pohjamaali EPOCOAT 21 Primer valkoinen 1×80 µm
- Pintamaali NORMADUR 65 HS RAL 1021 1×80 µm

6 3D-MALLINNUS

SolidWorks ohjelmisto koostuu toisiinsa integroiduista suunnittelutyökaluista. Telineen suunnittelussa käytettiin Solidworksin mallinnus-, kokoonpano-, työkuvien luonti- ja FEM -analyysityökaluja. Ohjelmistossa on lisäksi mm. kehittyneet pintamallinnusominaisuudet ja putkistosuunnittelu, muottisuunnittelu ja levyn levitystyökalut. (Solidworks www-sivut 2016)

Telineelle asetetut vaatimukset huomioiden suunniteltiin muutamia erilaisia telinemalleja. Mallien perusteella valittiin yrityksen edustajien kanssa toteutettava konstruktio.



Kuva 1. Ensimmäinen vaihtoehtoinen konstruktio



Kuva 2. Toinen vaihtoehtoinen konstruktio

7 ELEMENTTIMENETELMÄ

7.1 Elementtimenetelmän esittely

Elementtimenetelmä eli FEM (Finite Element Method) on toisiinsa liitetystä elementteistä koostuva numeerinen ratkaisumalli. Elementtimenetelmä on alun perin kehitetty rakenteiden jännitysten ja muodonmuutosten laskentaan. Elementtimenetelmä soveltuu hyvin myös mm. akustiikan, nesteiden dynamiikan ja lämmönjohtumisen ongelmien ratkaisumalliksi. Monimutkaisista rakenteista menetelmä tuottaa likimääräisen ratkaisun, joka on aivan riittävä tulos useimmissa käytännön ongelmissa.

(Hietikko 2013, 170)

Elementtimenetelmässä analysoitava rakenne muodostetaan erilaisilla yksinkertaistetuilla elementeillä, jotka liitetään toisiinsa solmupisteiden kautta. Elementit ja solmupisteet muodostavat elementtiverkon. Kimmoisella alueella, eli alueella, jossa muodonmuutokset eivät ole pysyviä ja muodonmuutos on suoraan verrannollinen kuormitukseen, voidaan elementtiverkosta muodostaa tasapainoyhtälöryhmä. Solmupisteiden siirtymät saadaan yhdistämällä elementtiverkon solmupisteiden koordinaateista ja materiaalien ominaisuuksista muodostettu jäykkyyismatriisi kuormitukseen. Tämän jälkeen solmupisteiden siirtymistä saadaan laskettua kappaleessa vaikuttavat jännitykset. Käytännössä vähänkin monimutkaisemmat rakenteet on ratkaistava tietokoneella, sillä ratkaistavien yhtälöiden lukumäärä voi kohota tuhansiin tai jopa miljooniin.

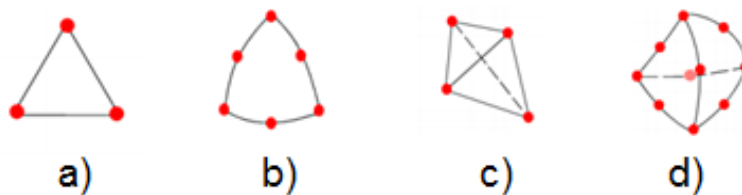
(Hietikko 2013, 170)

7.2 Joitakin elementtityyppejä

Sauvaelementit ovat kaksisolmuisia tasapaksuja elementtejä, jotka ottavat vastaan poikkileikkauksen normaalivoiman suuntaista kuormitusta. (Lähteenmäki 2013)

Palkkielementit ovat kaksisolmuisia tasapaksuja elementtejä, jotka ottavat vastaan normaalivoiman, leikkausvoiman ja taivutusmomenttien aiheuttamia kuormituksia.

(Lähteenmäki 2013)



Kuva 3. Solidworksin FEM-analyysin Solidelementit (Akin 2009)

Solidelementit ovat joko 2D tasoelementtejä tai 3D monitahokkaita. Solidworksin FEM-analyysin Solidelementit ovat a) kolmisolmuinen kolmio, b) kuusisolmuinen polygoni, c) 4 solmuinen tetraedri ja d) 6 solmuinen monikulmio. Solidelementtien b ja d reunat ovat parabolisia. (Akin 2009)

Lattaelementit ovat yleensä kolme tai neljäisivuisia tasapaksuja elementtejä. Ne ovat tarkoitettu taivutus- ja leikkausvoimien alaisten kappaleiden analysointiin. (Lähteenmäki 2013)

Kuorielementit on tarkoitettu kaarevien pintarakenteiden tarkasteluun. (Lähteenmäki 2013)

7.3 Ristikkorakenne

Ristikko on sauvaelementeistä kitkattomilla nivelillä yhdistetty rakenne. Sauvaelementit ottavat vastaan vain veto- ja puristuskuormitusta. Jos kaikkien sauvojen akselit leikkaavat toisensa samalla tasolla kutsutaan ristikkoa tasoristikoksi. Kolmiulotteisia ristikkoita kutsutaan avaruusristikoiksi. Jotta ristikkorakenteessa vaikuttaa vain normaalivoimia ovat sauvojen liitokset oletettava kitkattomiksi, kuormat kohdistettava ai-noastaan niveliin, sekä oletettava sauvojen leikkaavan samassa pisteessä. Nämä oletukset täyttävää ristikkorakennetta sanotaan ideaaliristikoksi.

(Salmi & Kuula 2012, 78)

Ristikko on suunniteltava staattisesti määräytyksi taikka ylijäykäksi rakenteeksi. Jos ristikkorakenne ei ole staattisesti tai ylijäykästi määrätty se on liikkuva mekanismi.

Staattisesti määrätyn ristikon voimasuureet voidaan ratkaista voimien tasapainoehtojen avulla. Staattisesti määrätty tasoristikko toteuttaa ehdon: $m = 2s - 3$, jossa m on sauvojen lukumäärä ja s solmujen lukumäärä.

(Kaitila, O. & ym. 2010, 77)

On huomioitava, että yllä oleva ehto ei vielä takaa ristikon stabiliteettia.

7.4 Kehärakenne

Palkkirakenteessa on ainakin yksi taivutus- ja leikkausrasitusta kantava osa. Suorista palkeista koostuvaa rakennetta sanotaan kehäksi. Rakenteen ja kuormituksen ollessa samassa tasossa rakennetta kutsutaan tasokehäksi, muutoin kyseessä on kolmiulotteinen avaruuskehä. Käyristä palkeista muodostettua rakennetta kutsutaan kaarirakenteeksi.

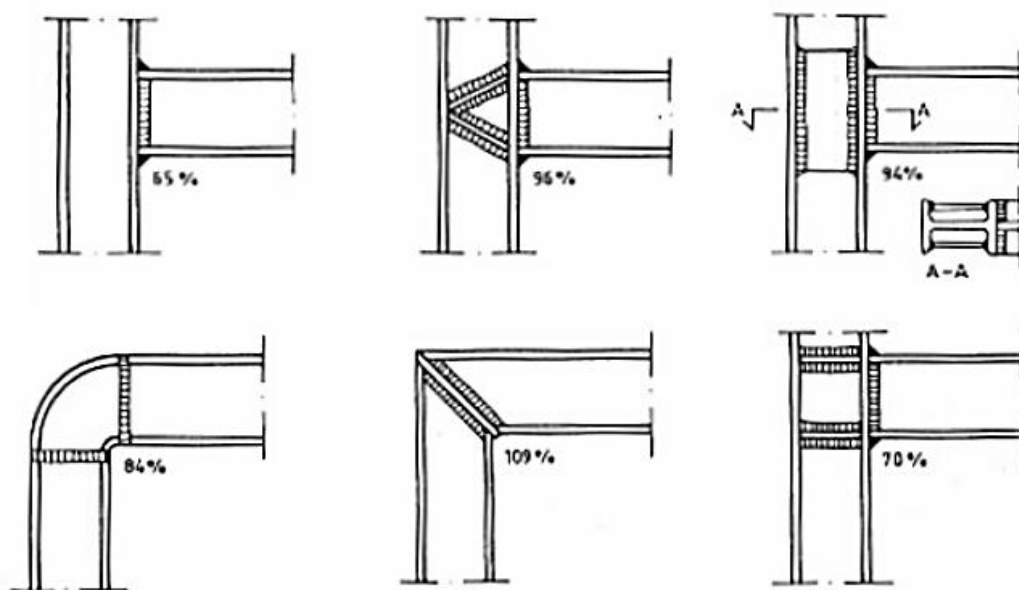
(Salmi & Kuula 2012, 95)

Kehän osia rasittaa normaalivoima, leikkausvoima, taivutusmomentti ja vääntömomentti. Kehärakenteessa voi olla palkkien lisäksi myös vain normaalivoimaa vastaanottavia sauvoja. Kehärakenteen mallissa palkkeja kuvataan pintakeskiöviivoilla. Pintakeskiöviivat leikkaavat toisensa joko samassa tasossa tai epäkeskoisesti. Kehärakennetta voidaan kuormittaa palkkeihin kohdistuvalla viivakuormalla tai solmuihin kohdistuvilla pistemäisillä voima- tai momenttikuormituksilla.

(Lähtenmäki 2013)

Solidworksin FEM-analyysissä voidaan säätää palkkien päiden solmujen ominaisuuksia. Solmu voi olla jäykkä, nivelletty tai liukuva. Solmusta voidaan manuaalisesti erikseen määrittää suunnat, joista ei oteta vastaan voimia tai momentteja. Näin rakenteessa olevat nivelet tai luistit, voidaan ottaa huomioon analyysissä.

(Solidworks Help www-sivut 2016)



Kuva 4. Hitsattuja kehänurkkaliitoksia (Niemi & Kemppi 1993, 301)

Kehärakenteen suunnittelussa on huomioitava palkkien liitosten jäykkyys, sillä laskennassa liitokset on idealisoitu täysin jäykiksi. Huonosti jäykistetyin liitoksen momentinkestävyys ei ole riittävä. (Niemi & Kemppi 1993, 300)

8 FEM-ANALYYSI

FEM-analyysi laadittiin Solidworksin FEM-analyysityökalulla. Telineen rungon FEM-analyysimallista karsittiin kaikki lujuuslaskennan kannalta epäoleelliset rakenteet, kuten portaot ja kaiteet. Näiden lujuutta ei oteta laskennassa huomioon, vaikka tosiasiassa nekin omalta osaltaan hieman jäykistävät rakennetta.

Telineen runkorakenteelle muodostettiin kolmelle kuormitustapaukselle analyysimalli. Ensimmäisessä tapauksessa runkoa kuormitettiin lattiapinnalle tulevalla 2 kN/m^2 kuormalla. Toisessa analyysissä kohdistettiin rungon ulommaiseen nurkkaan $1,5 \text{ kN}$ pistekuorma. Kolmannessa tapauksessa tarkastellaan trukkinostossa aiheutuvia kuormituksia.

Rakenteen kestävyyttä arvioitiin Solidworksin FEM-analyysissä yhdistettyjen jännitysten perusteella muodostetusta paikallisen varmuuskertoimen jakaantumisen kuvaajasta (Factor Of Safety Plot). Kuvaajassa jännitykset yhdistettiin vakimuodonvääristymisenergihypoteesin VMVEH mukaisesti. (Solidworks Help www-sivut 2013) Ulkomaisessa kirjallisuudessa ja Solidworksissa vakimuodonvääristymisenergihypoteesista käytetään nimitystä von Mises Stress. (Hietikko 2013, 142)

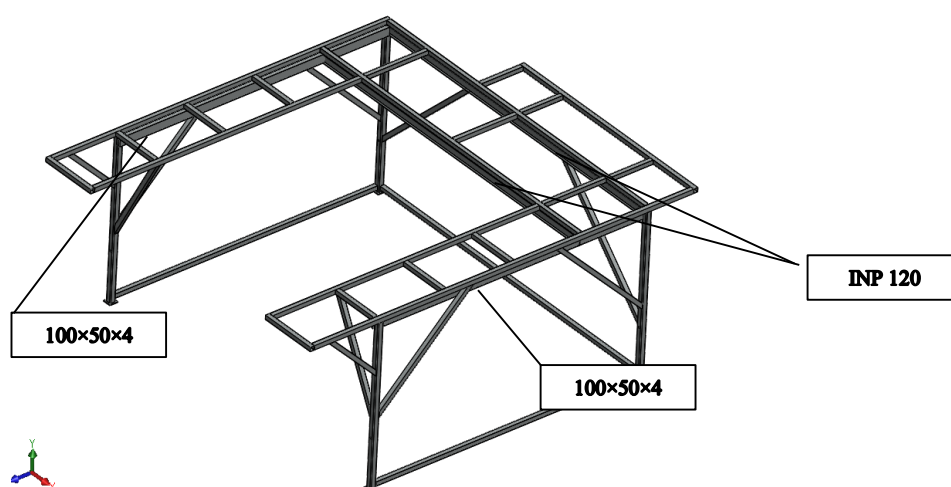
Solidworksissa vakimuodonvääristymisenergihypoteesin mukainen vertailujännitys (Solidworks Help www-sivut 2012) lasketaan pääjännityksistä kaavalla:

$$\sigma_{vert} = \sqrt{\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}{2}}$$

Joka voidaan (Jong & Springer 2009) mukaan johtaa yleiseen muotoon:

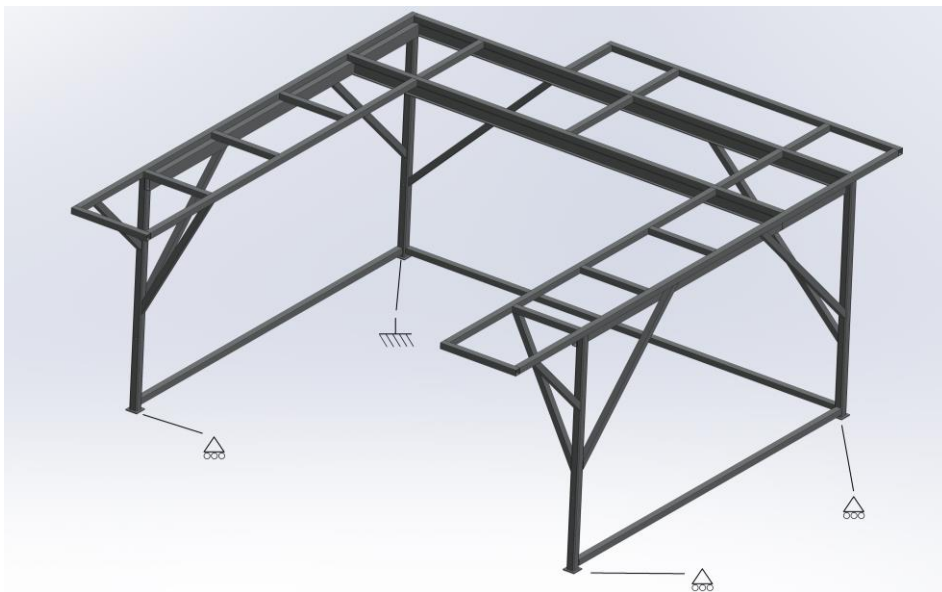
$$\sigma_{vert} = \sqrt{\frac{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 + 6(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2)}{2}}$$

FEM-analyysin yhteydessä rungossa havaittiin liian suuria jännityksiä. Rakenteen pitkistä jänneväleistä johtuen pelkkä neliöpalkeista tehty runko ei kestänyt rasitusta, vaan rakenne taipui sekä pituus- että leveyssuunnassa. Taipuman estämiseksi rakenteeseen lisättiin leveyssuuntaan kaksi INP 120 -palkkia ja syvyysuuntaan kaksi 100×50×4-suorakaideputkipalkkia.



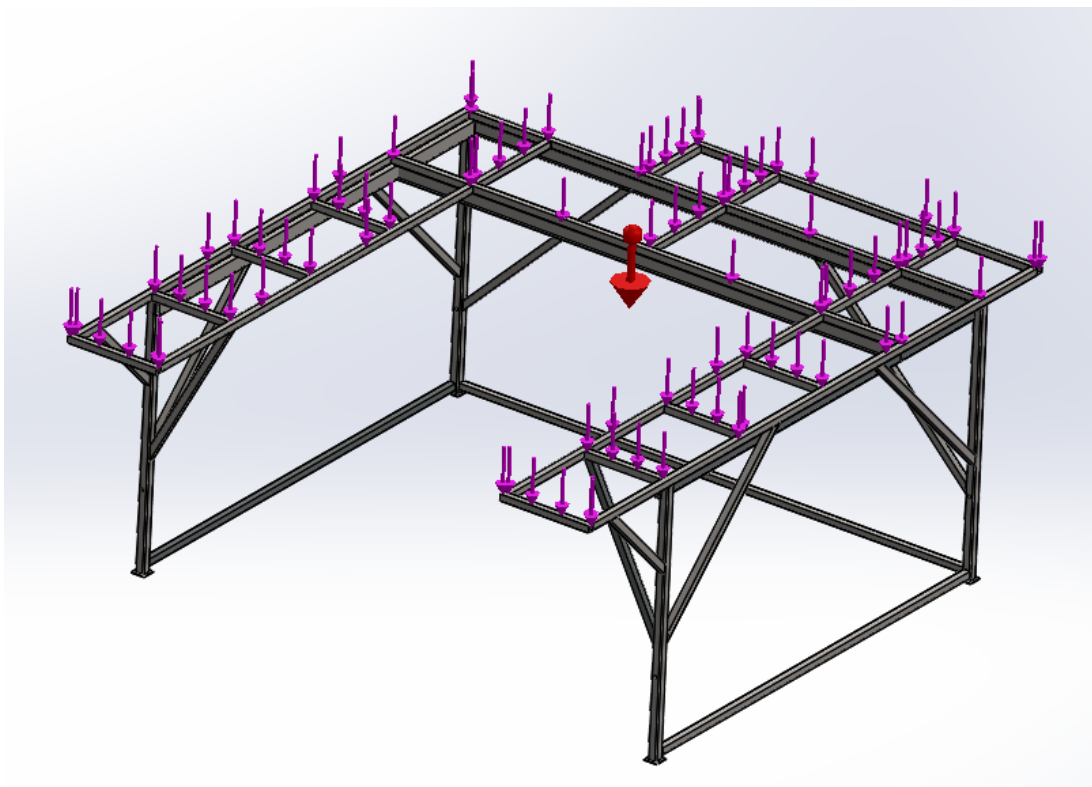
Kuva 5. Runkoon lisätyt palkit

8.1 Tasainen kuormitus rungolle



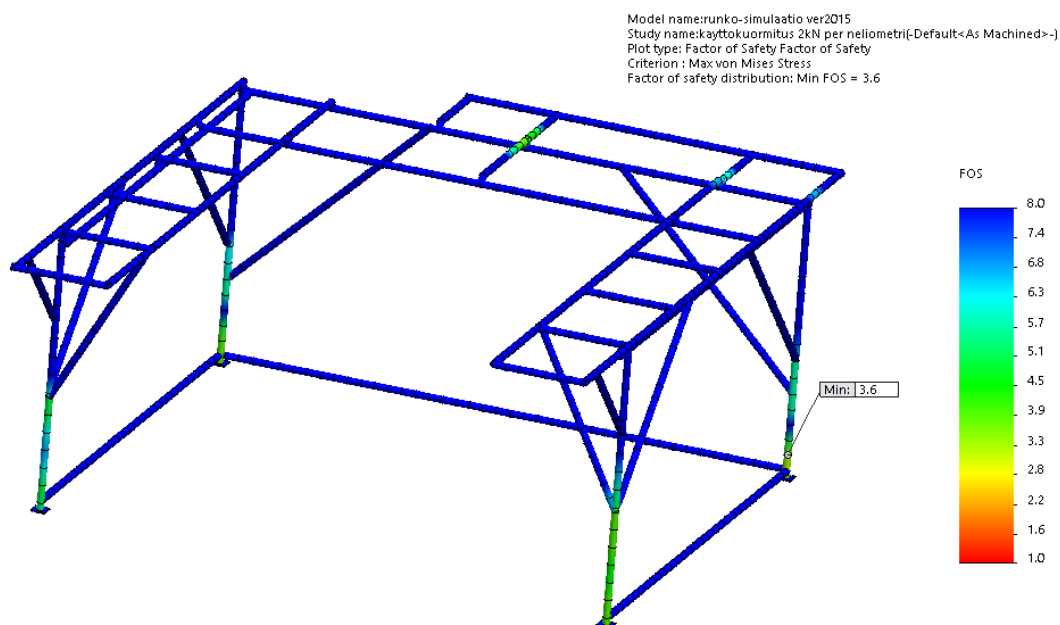
Kuva 6. Rungon tuenta tasaisen kuormituksen ja pistekuormituksen analyysissä

Kahdessa ensimmäisessä kuormitustapauksessa telineen jalat ovat tuettuna suoralle pinnalle. Yksi jaloista on ankkuroitu kiinteästi pinnalle ja kolme muuta jalkaa ovat tuettu rullatuilla. Rullatuet päästävät telineen jalat luistamaan tasoa vasten.

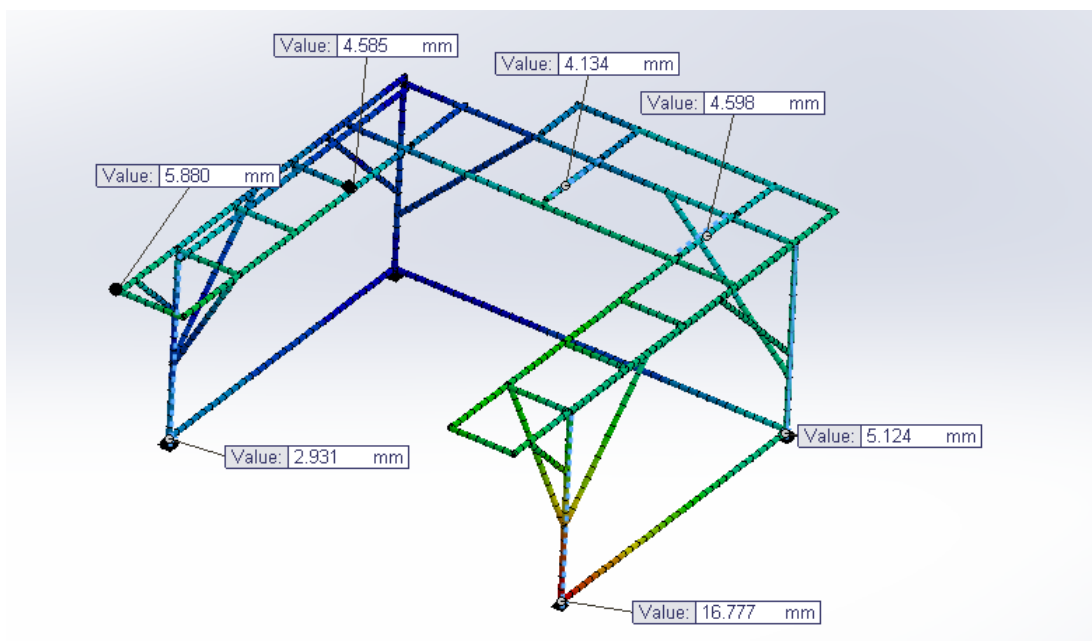


Kuva 7. Tasaisen kuormituksen analyysissä runkoon kohdistetut voimat

Ensimmäiseksi otettiin huomioon rakenteen omasta massasta aiheutuva kuormitus. Kaiteiden ja muiden mallista karsittujen komponenttien painot kompensoitiin tasaisella ylärunkoon kohdistuneella kuormituksella. Tähän kuormitukseen lisättiin standardissa (SFS-EN ISO 14122-2 + A1, 16) määritelty vähimmäiskuorma 2 kN/m^2 . Telineen lattiapinta-ala on $13,6 \text{ m}^2$, jonka perusteella telineeseen kohdistettavaksi kokonaiskuormaksi tulee $27,2 \text{ kN}$. Tämä vastaa noin 2770 kg tasaisesti jakaantunutta painoa telineellä. Käytännössä telineellä työskentelee suurimmaksi osaksi yksi ihminen kerrallaan, joten vaatimus on varmasti riittävä.



Kuva 8. Varmuuskertoimen jakaantuminen tasaisen kuormituksen alaisena

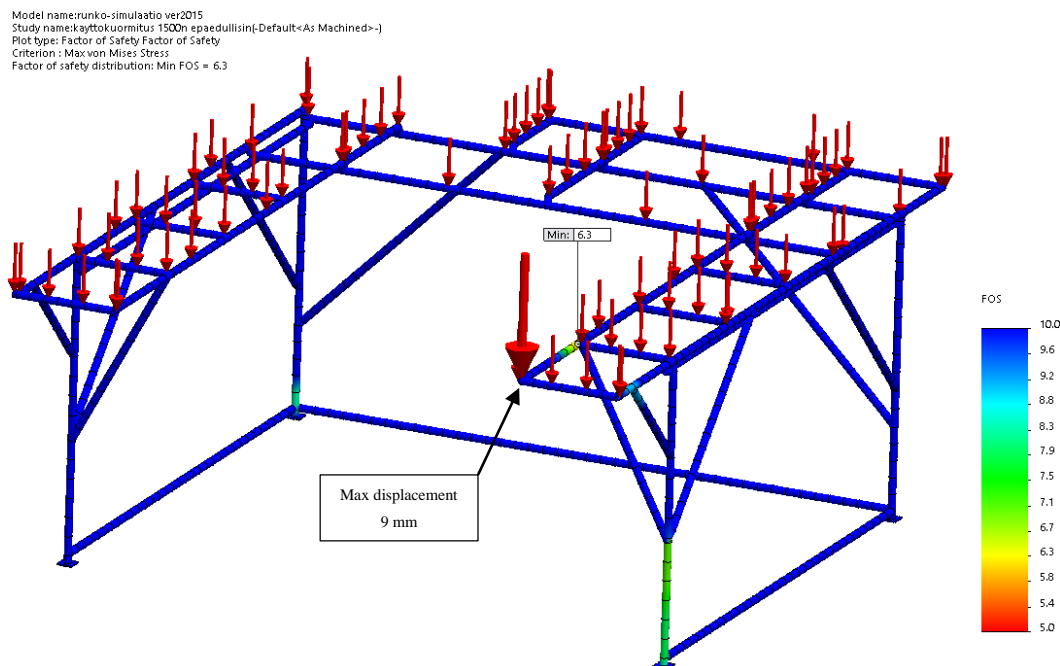


Kuva 9. Tasaisen kuormituksen aikaansaamat muodonmuutokset

Suurin vakiomuodonvääristymisenergiatyyppien mukainen yhdistetty jännitys 99,8 MPa kohdistuu taaimmaiseen jalkaan. Materiaalina on S355, jonka myötölujuus on 355 MPa. Paikalliseksi varmuuskertoimeksi tulee 3,6. INP 120 S235 -poikkipalkin suurin jännitys jää alle 45 MPa:n. Todettiin, että rakenne kestää hyvin ensimmäisen kuormitustapauksen.

8.2 Pistekuormitus rungolle

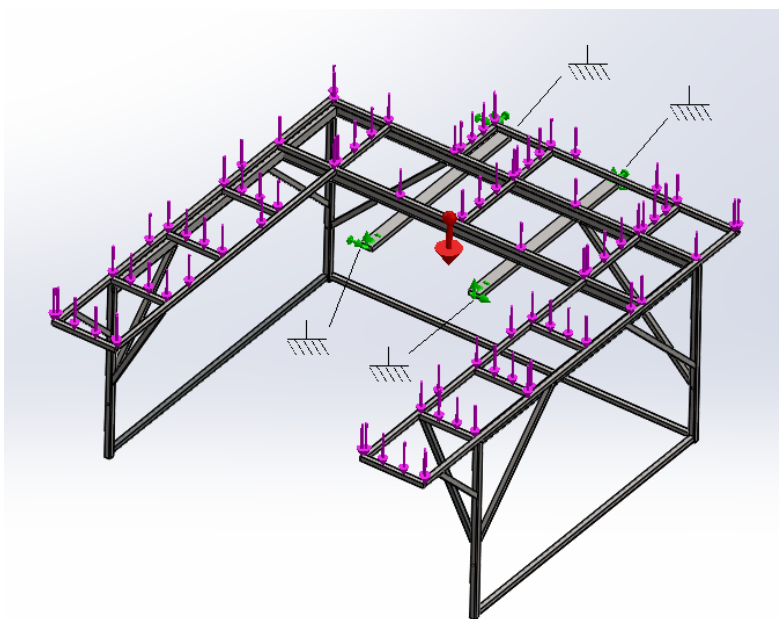
Rungon toisessa kuormitustapauksessa tukipisteet ovat samat kuin ensimmäisessä kuormitustapauksessa. Kaiteiden ja muiden mallista karsittujen komponenttien painot kompensoitiin tasaisella ylärunkoon kohdistuneella kuormituksella. Telineen uloim-paan pisteeseen kohdistettiin standardissa (SFS-EN ISO 14122-2 + A1, 16) määritelty 1,5 kN pistekuorma.



Kuva 10. Varmuuskertoimen jakaantuminen pistekuormituksen alaisena ja suurin siirtymä

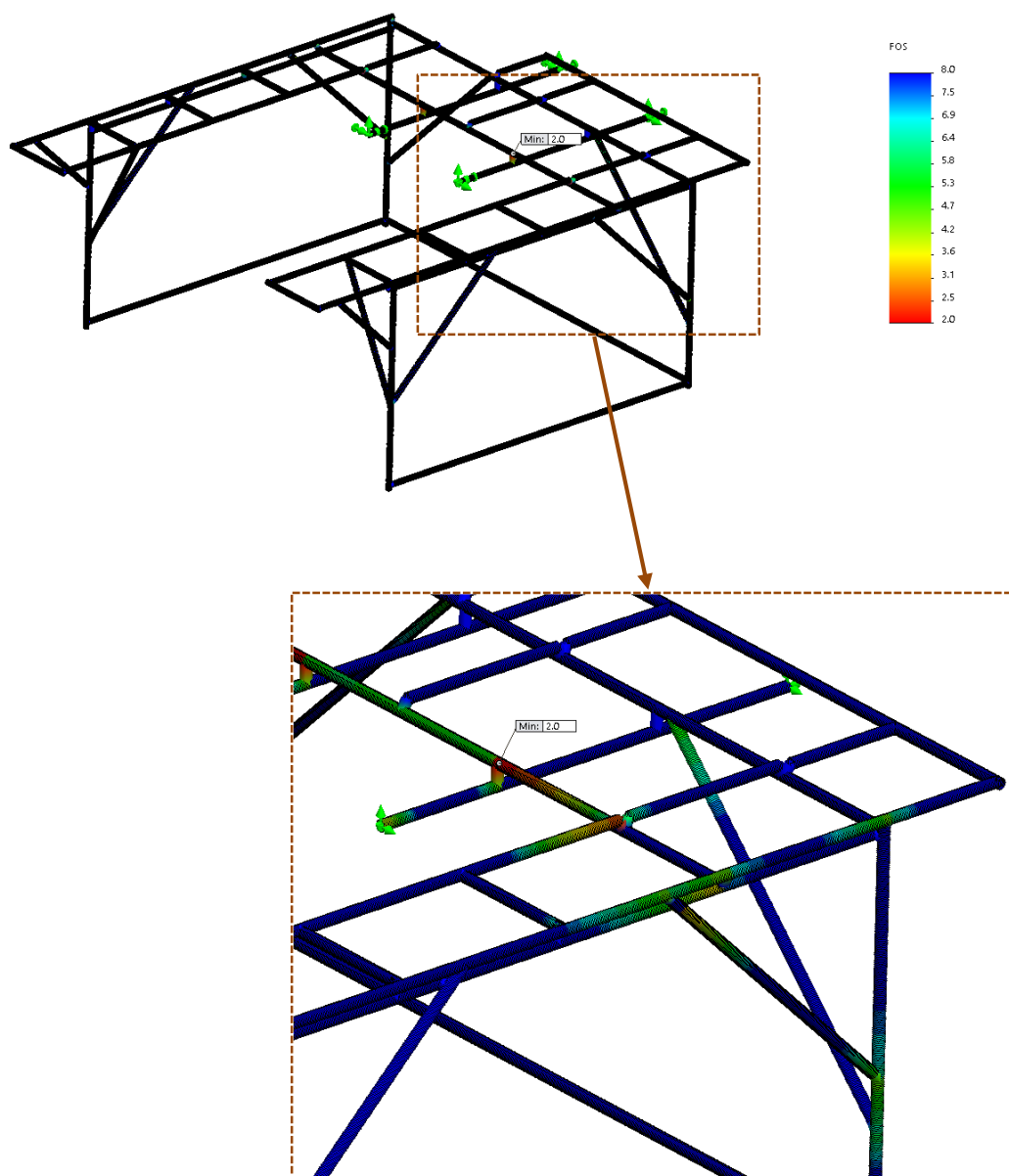
Pistekuormituksen alaisena rungon suurin yhdistettyvertailujännitys on 56,4 MPa ja suurin siirtymä 9 mm. Tältä osin rungon rakenteen lujuus täyttää vaatimukset.

8.3 Nostokuormitus rungolle



Kuva 11. Nostokuormitusanalyysin asetukset

Kolmannessa kuormitustapauksessa teline on nostettu trukilla ilmaan. Runko on kiinnitetty trukin piikkeihin, jotka ovat laskennassa kiinnitetty paikoilleen. Vaikuttavat kuormat muodostuvat rungon omasta massasta ja karsittujen osien massasta aiheutuva kuormitusta kompensoivasta pintakuormasta.

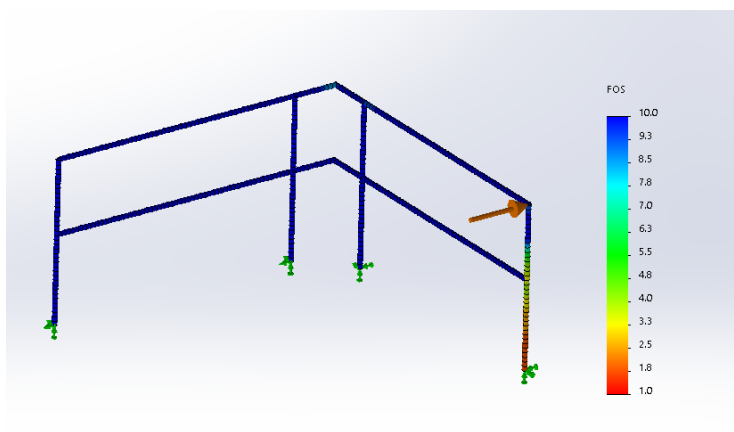


Kuva 12. Nostotilanteen varmuuskertoimen kuvaaja

Telinettä nostetaan ainoastaan toisesta päästä. Tämä aiheuttaa suuria taivutusjännityksiä. Yhdistetty jännityshuippu 117 MPa sijaitsee INP 120 S235 poikkipalkissa. Palkin myötörajaan nähden varmuuskerroin on 2,0.

8.4 Pistekuormitus kaidetolpan yläpäähän

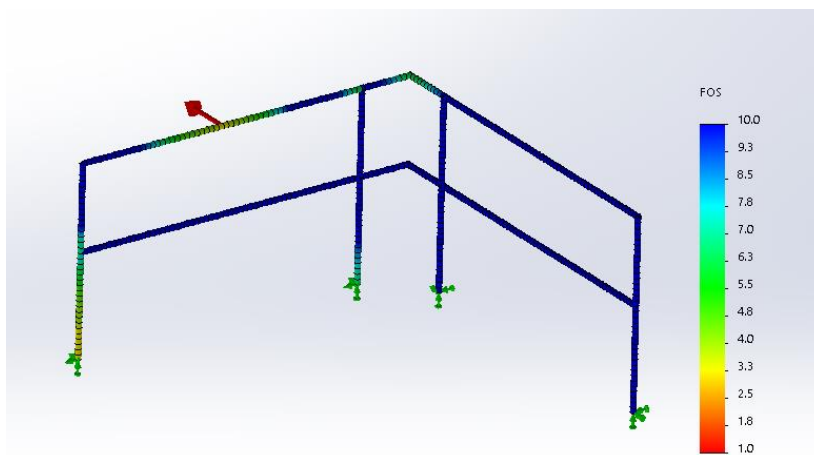
Kaiteesta laadittiin idealisoitu rakenne, joka vastaa telineen kaiteen epäedullisinta kohtaa. Pystytolppien suurin välimatka on 1,7 m. Kaiteen laskennassa pystytolpat kiinnitettiin alhaalta paikoilleen. Standardin (SFS-EN ISO 14122-3 + A1, 26) mukainen pistekuormitus 1,7 metrin pystytolppien etäisyydellä on 510 N. Pistekuormitus kohdistettiin kaiteen yläpäähän.



Kuva 13. Kaiteen yläpäähän kohdistettu pistevoima

Kuormitettuna pystytolpan alapäähän syntyi 147 MPa yhdistettyvertailujännitys. Tolpan yläpäässä suurin siirtymä oli 15 mm. Varmuuskerroin suhteessa myötörajaan 235 MPa on 1,6. Standardin (SFS-EN ISO 14122-3 + A1, 26) vaatimukset tulevat täytettyä.

8.5 Pistekuormitus käsijohteelle



Kuva 14. Käsijohteeseen kohdistettu pistevoima

Sama 510 N pistevoima kohdistettiin keskelle käsijohdetta. Suurin yhdistettyvertailujännitys oli 78 MPa ja suurin siirtymä 10 mm. Kaide täyttää standardin (SFS-EN ISO 14122-3 + A1, 26) vaatimukset.

9 HITS AUSLIITOSTEN MITOITTAMINEN

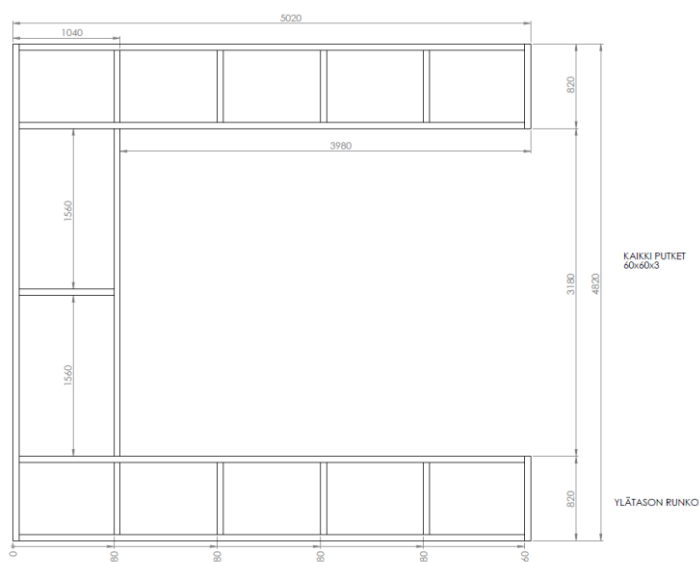
Telineen kaikki runko-osat liitetään toisiinsa hitsausliitoksilla. Kaikki liitokset katsottiin voimaliitoksiksi, joille on ominaista tasaluja mitoitusperuste. Tasalujassa mitoitusperusteessa hitsit suunnitellaan aina läpihitsatuiksi. Läpihitsatun liitoksen lujuus on yhtä suuri, kuin liitettävien osien lujuus. (Airila & ym 2009, 249)

10 TYÖKUVIEN PIIRTÄMINEN

Ennen työkuvienv piirtämistä tutustuttiin valitun telineen valmistajan työmenetelmiin. Yhdessä sovittiin rakennustapa 3D-mallin pohjalta. Työkuvat jaettiin valmistusjärjestyksen mukaisiin osakokoonpanoihin.

Mitoituksessa huomioitiin valmistuksen kannalta oleelliset mitat pyrkimyksenä minimoida valmistuksen aikaiset laskutoimitukset.

Materiaalin hankintaa ajatellen laadittiin materiaaliluettelo, jonka perusteella valmistaja voi helposti tilata tarvittavat materiaalit.



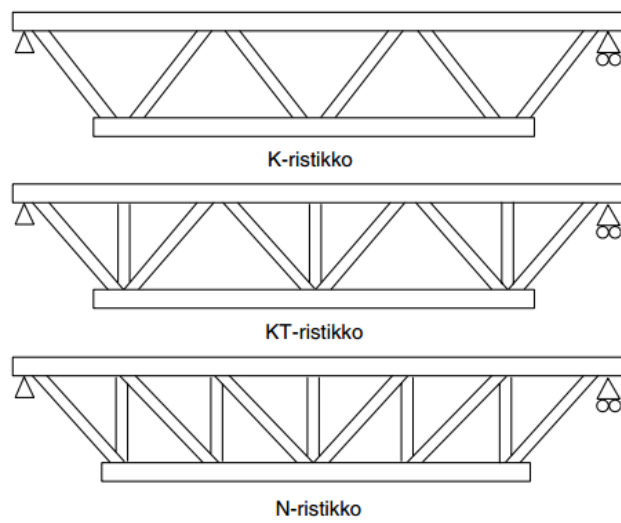
Kuva 15. Ylätason putkirungon valmistuskuva

Valmiit työpiirustukset katselmoitiin ja hyväksyttiin yhteistyössä valmistajan kanssa.

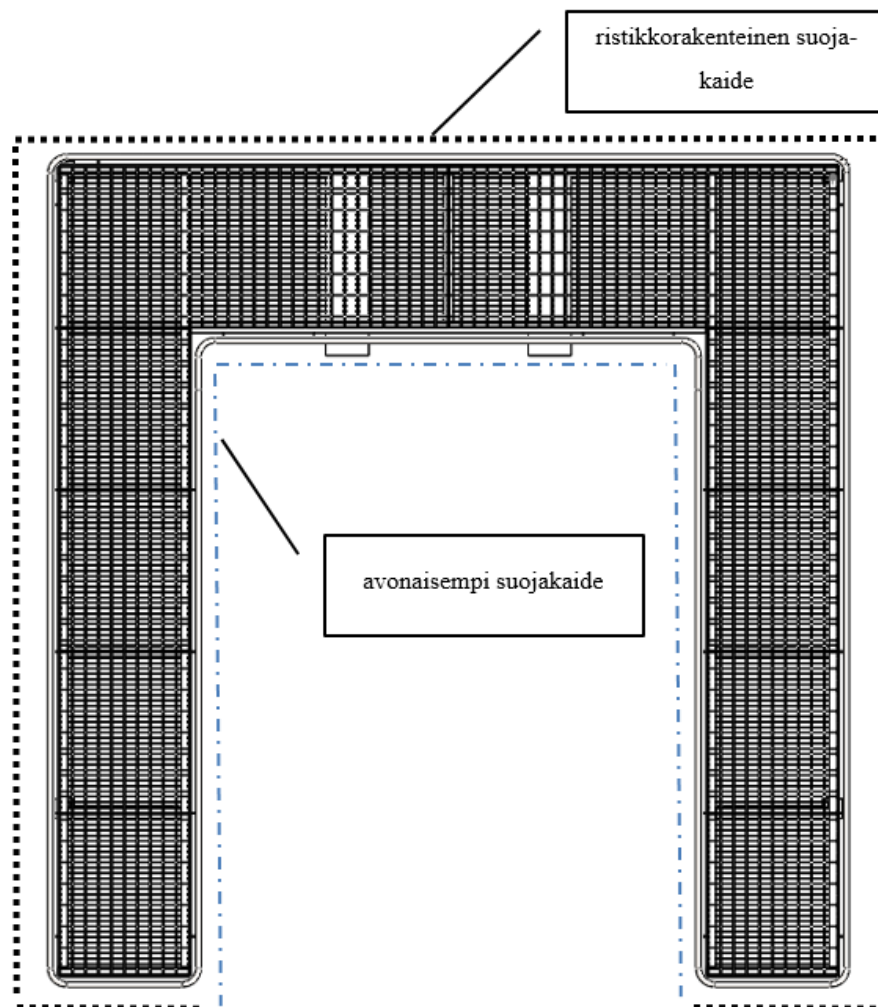
11 KEHITYSAJATUS

Telineen suunnitteluprojektin yhteydessä tutustuin tarkemmin Solidworksin FEM-analyysityökaluun. Työkalun avulla voi kohtalaisen helposti laskea erilaisten rakenteiden jäykkyyksiä. Työn jo valmistuttua jäin pohtimaan vielä uudenlaista telinekonstruktiota, jossa käytettäisiin hyväksi suojakaiteen kantavuutta.

Telineeltä työskennellään sisäosaa kohden, joten ulkopuolella kulkevan kaiteen läpi ei tarvitse työskennellä. Suunnittelemalla ulompi kaide kantavaksi rakenteeksi, alarunkoon ei tarvitse lisätä kantavia palkkeja. Ilman lisättäviä palkkeja rakenne on kevyempi. Nostotilanteessa telineeseen vaikuttavat voimat muodostuvat rakenteen omasta painosta. Nostettaessa kevyempään rakenteeseen vaikuttaa pienempi voima.



Kuva 16. Erilaisia ristikkotyyppejä (Ongelin & Valkonen 2012, 423)



Kuva 17. Uudenlaisen kantavan suojakaidekonstruktion skitsi

12 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tarkoituksena oli tuottaa siirrettävän hiekkapuhallus- ja maalaustelineen teettämiseen tarvittava tekninen aineisto. Telineen suunnittelussa käytettiin hyödyksi standardin SFS-EN ISO 14122 vaatimuksia, jotka täyttämällä varmistuttiin telineen turvallisuudesta.

Minulla oli Solidworksin käyttämisestä aikaisempaa työkokemusta, mutta haastavaksi opinnäytetyön laatimisen teki aikaisemman kokemuksen puute Solidworksin FEM-analyysityökalusta. Opinnäytetyön laatimisen aikana opiskelin itsenäisesti Solidworksin FEM-analyysityökalun ja elementtimenetelmän perusteet. Opintoihini kuuluneet matematiikan, lujuusopin ja statiikan kurssit mahdollistivat itseopiskelun.

Haastavaa telineen suunnittelussa oli nostotilanteessa syntyvien jännitysten hallinta. Omasta painosta rakenteeseen syntyi ennakoitua enemmän jännityksiä. Rakennetta vahvistettiin FEM-analyysin perusteella. Lopullinen rakenne täyttää sille asetetut lujuusvaatimukset.

Telineeseen kohdistuvien vaatimusten täyttämisestä muodostui laaja kokonaisuus. Liitteenä on suunnittelun apuna käytetty tarkastuslista.

Työn lopputuloksena syntyi vaatimukset täyttävän telineen teettämisessä tarvittava tekninen aineisto. Tämän teknisen aineiston perusteella kohdeyrityksessä tehtiin hankintapäätös telineen teettämisestä.

LÄHTEET

Airila, M., Ekman K., Hautala, P., Kivioja, S., Kleimola, M., Martikka, H., Miittinen, J., Niemi, E., Ranta, A., Rinkinen, J., Salonen, P., Verho, A., Vilenius, M. & Välimaa, V. 2009. Koneenosien suunnittelu. 4.-5. painos. Helsinki: WSOYpro Oy.

Solidworks Help www-sivut. 2016. Solidworks Help: Apply-Edit Beam Property-Manager. Viitattu 25.3.2016.

http://help.solidworks.com/2015/english/solidworks/cworks/idh_help_define_beam.htm

Solidworks Help www-sivut. 2012. Solidworks Help: Maximum von Mises Stress Criterion. Viitattu 26.4.2016.

http://help.solidworks.com/2012/English/SolidWorks/cworks/prot_vonm.htm

Solidworks Help www-sivut. 2013. Solidworks Help: Factor Of Safety Wizard.

Viitattu 25.3.2016.

http://help.solidworks.com/2013/English/SolidWorks/cworks/IDH_HELP_DESIGN_CHECK.htm

Solidworks www-sivut. 2016. Solidworks premium: Make great designs happen.

Viitattu 25.3.2016.

http://files.solidworks.com/pdf/SW2016_Premium_DS_ENU.pdf

Hietikko, E. 2013. Palkki : Lujuuslaskennan perusteet. 2. painos. Helsinki: BoD - Books on demand.

Akin, J. 2009. Finite Element Analysis Concepts via SolidWorks. Viitattu 25.3.2016.

https://www.clear.rice.edu/mech517/old_pdf/FEAC_final.pdf

Lähteenmäki, M. 2013. Elementtimenetelmän perusteet. Viitattu 25.3.2016.

http://personal.inet.fi/koti/mlahteen/arkistot/elpe_ark.htm

Niemi, E. & Kemppe, J. 1993. Hitsatun rakenteen suunnittelun perusteet. Helsinki: opetushallitus.

Nor-Maali Oy www-sivut. 2012. Suojamaaliyhdistelmien vastaavuus taulukko 2012. Viitattu 25.3.2016.

http://www.nor-maali.fi/files/1613/5297/1300/Met_pintojen_suojamaaliyhd_VERSION_2012.pdf

Onninen Oy www-sivut. 2015. Rakenneteräshinnasto. Viitattu 25.3.2016.

http://www.onninen.com/SiteCollectionDocuments/Finland%20Documents/Palvelut/Hinnastot/Teollisuushinnasto/Rakenneter%C3%A4shinnasto%203_2015.pdf

Onninen Oy www-sivut. 2016. Pyöreät rakenneputket EN10219 S235/S355 Viitattu 25.3.2016. <http://onninen.procus.fi/documents/original/13810/1/0/Pyoreatrakenneputket-Procus.pdf>

Ongelin, P. & Valkonen, I. 2012. Ruukki: Rakenneputket EN 1993 -käsikirja 2012. Keuruu: Rautaruukki Oyj.

Salmi, T. 2014. Statiikka. 4. Painos. Tampere: Pressus Oy.

Salmi, T. & Kuula, K. 2012. Rakenteiden mekaniikka. Tampere: Pressus Oy.

SFS-EN ISO 14122-2 + A1. Koneturvallisuus. Koneiden kiinteät kulkutiet. Osa 2: Työskentelytasot ja kulkutiet. 2010. Finnish Standards Association SFS. Helsinki: SFS

SFS-EN ISO 14122-3 + A1. Koneturvallisuus. Koneiden kiinteät kulkutiet. Osa 3: Portaat, porrastikkaat ja suojakaiteet. 2010. Finnish Standards Association SFS. Helsinki: SFS

Suomen Teräsrtilä Oy www-sivut. 2016. Tuotekansio. Viitattu 25.3.2016.

<http://www.str.fi/dokumentit/STR-TUOTEKANSIO.pdf>

Kaitila, O., Kumar R., Martikainen, L., Leskelä, M., Heinisuo, M., Saarinen, E., Inha, T., Martikainen, L., Kemppi, M., Yrjölä, P., Jyrkäs, K. & Ilveskoski, O. 2010. Teräsrakenteiden suunnittelu ja mitoitus. Eurocode 3 -oppikirja. Helsinki: Teräsrakenneyhdistys ry.

VS-Partners Oy www-sivut. 2016. VS-Market nettikauppa. Viitattu 25.3.2016
<http://www.vs-market.fi/fi/nelioputket/2098-nelioputki.html>

Jong, I., Springer, W. 2009. TEACHING VON MISES STRESS: FROM PRINCIPAL AXES TO NONPRINCIPAL AXES. Viitattu 26.4.2016.
<http://comp.uark.edu/~icjong/docu/09gc.Budapest.pdf>

LIITE 1

SUUNNITTELUN TARKASTUSLISTA			
Peruste	Vaatus	Toteutuma	Arviointi
SFS-EN ISO 14122-2	Korroosionkesto on huomioitava	Maalausjärjestelmä tehty	Täyttää vaatimukset.
SFS-EN ISO 14122-2	Rakenneosiin ei saa kertyä vettä	Kaikkien palkkien päät tulpattu. Lattiapinnat tehty ritilästä.	Täyttää vaatimukset.
SFS-EN ISO 14122-2	Materiaalien yhteensopivuus	Kaikki materiaalit terästä.	Täyttää vaatimukset.
SFS-EN ISO 14122-2	Työergonomia	Teline parantaa nykyistä työergonomiaa. Teline on mitoitettu prosessin vaatimusten mukaisesti.	Täyttää vaatimukset.
SFS-EN ISO 14122-2	Estettävä putoavat esineet	Lattiamateriaalina on hoitotasoritulä. Määräysten mukaiset potkulistat.	Täyttää vaatimukset.
SFS-EN ISO 14122-2	Kaikki kohdat, joiden kanssa käyttäjät mahdollisesti joutuvat kosketuksiin, on suunniteltava sellaiseksi, että käyttäjä on suojattu vammoja vastaan	Terävät kulmat pyöristetty. Telineessä ei ole mekanismeja.	Täyttää vaatimukset.
SFS-EN ISO 14122-3	Kävelypinnoilla on pysyvät liukastumista estävät ominaisuudet	Tehdasvalmisteiset lattiaritilät ja raput.	Täyttää vaatimukset.
SFS-EN ISO 14122-4	Käyttäjän putoaminen on estettävä	Kaiteet kulkevat kaikkialla.	Täyttää vaatimukset.
SFS-EN ISO 14122-5	Käsijohteet on suunniteltava siten, että niitä käytetään vaistomaisesti	Käsijohteet kulkevat rappusten vieressä.	Täyttää vaatimukset.

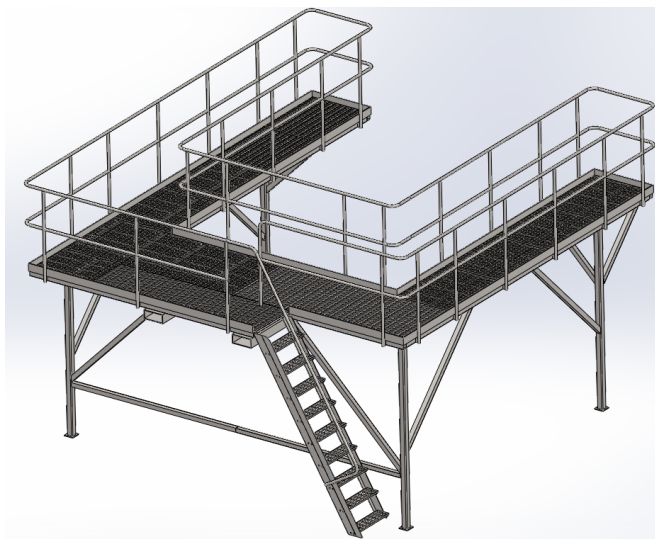
SFS-EN ISO 14122-6	Työkohteiden on oltava mahdollisuuksien mukaan 500 mm ... 1700 mm korkeudella työskentelytason pinnasta	Työkappaleiden korkeudet huomioitu tason korkeutta määritettäessä. Työkappaleet ovat noin 600 - 1200 mm korkeudella.	Täyttää vaatimukset.
SFS-EN ISO 14122-7	Ei poikkeuksellisissa olosuhteissa kulkutason vapaan leveyden on oltava vähintään 600 mm, mutta mieluummin 800mm.	Kulkutason minimi leveys on 820 mm	Täyttää vaatimukset.
SFS-EN ISO 14122-8	Yli 500 mm korkeudella olevat tasot on varustettava suojakaiteilla	Suojakaiteet on.	Täyttää vaatimukset.
SFS-EN ISO 14122-9	Lattiapinnoille ei saa kertyä vettä, likaa, lunta, jäätä tai muita aineita.	Lattiapinnat ovat hoitotasoritilää.	Täyttää vaatimukset.
SFS-EN ISO 14122-10	Kompastumisvaarojen välttämiseksi lattiapinnoilla ei saa olla yli 4mm kynnystä	Tasolla ei ole kynnyksiä.	Täyttää vaatimukset.
SFS-EN ISO 14122-11	Lattiapinnasta ei saa päästä putoamaan 35 mm suuruinen kuula		
SFS-EN ISO 14122-12	Työskentelytasojen teknisissä tiedoissa on kerrottava kuorma, jolle ne on suunniteltu	FEM laskennan perusteella teline kestää 2770 kg tasaisesti jakaantuneen painon. Tästä huolimatta telineen henkilömäärä rajattiin kolmeen.	Täyttää vaatimukset.

SFS-EN ISO 14122-14	Työskentelytason mitoituksessa käytettävät vähimmäiskuormat, rakenteeseen tasaisesti kohdistuva kuormitus 2 kN/m ² , epäedullisimpaan kohtaan kohdistettava 1,5kN kuorma jakautuneena 200 mm × 200 mm suuruiselle alueelle	FEM - Laskenta tehty näillä kuormilla.	Täyttää vaatimukset.
SFS-EN ISO 14122-15	Työskentelytasojen lujuus on todennettava laskelmilla tai testeillä	FEM - Laskenta tehty ja tulokset hyväksytty.	Täyttää vaatimukset.
SFS-EN ISO 14122-16	Portaiden askelmien ja tukirakenteen on kestävä niille tarkoitetut kuormitukset	Tehdasvalmisteiset askelmat on varmasti mitoitettu näin.	
SFS-EN ISO 14122-17	Alle 1200 mm levyisten portaiden yhden askelman on kestävä 1,5 kN kuorma jakautuneena 100mm × 100mm alueelle	Tehdasvalmisteiset askelmat on varmasti mitoitettu näin.	
SFS-EN ISO 14122-18	Rakenteen ja askelmien välinen muodonmuutos ei saa ylittää 1/300 jännevälistä tai 6 mm		Valittu kokemusten perusteella riittävän vahva profiili. Vahvistetaan tarvittaessa.
SFS-EN ISO 14122-19	Etenemän ja nousun on täytettävä yhtälö: 600 mm ≤ etenemä + 2 × nousu ≤ 660 mm	145 + 2 × 250 = 645	Täyttää vaatimukset.
SFS-EN ISO 14122-20	Askelmien limityksen on oltava vähintään 10 mm	Limitys 20 mm	Täyttää vaatimukset.

SFS-EN ISO 14122-21	Portaiden leveyden on oltava vähintään 600 mm, mieluummin 800 mm	Leveys 600 mm	Täyttää vaatimukset.
SFS-EN ISO 14122-22	Askelmien minimi syvyys on 80 mm	Syvyys 165 mm	Täyttää vaatimukset.
SFS-EN ISO 14122-23	Maksimi nousu on 250 mm	nousu 250 mm	Täyttää vaatimukset.
SFS-EN ISO 14122-25	Käsijohteen korkeuden on oltava vähintään 1100 mm	Korkeus 1100 mm	Täyttää vaatimukset.
SFS-EN ISO 14122-26	Suojakaiteessa on oltava vähintään yksi välijohde	Suojakaiteessa on yksi välijohde	Täyttää vaatimukset.
SFS-EN ISO 14122-27	Välijohteen vapaan tilan mitta käsijohteeseen tai jalkalistaan ei saa olla yli 500 mm	Maksimi mitta jalkalistaan on 500 mm	Täyttää vaatimukset.
SFS-EN ISO 14122-28	Kaidetolppien välinen etäisyys tulisi olla korkeintaan 1500 mm. Jos väli on tätä pidempi, on kiinnitettävä erityishuomiota kaidetolppien lujuuteen.	Maksimi mitta 1720 mm	Lujuus tarkastettu FEM laskennalla
SFS-EN ISO 14122-29	Käsijohteen päissä ei saa olla teräviä reunoja	Kaikki reunat pyöristetty	Täyttää vaatimukset.
SFS-EN ISO 14122-30	Vaatteet eivät saa takertua käsijohteiden päihin	kaide muodostaa suljetun kehän	Täyttää vaatimukset.

SFS-EN ISO 14122-31	Kaidetolpan on kestävä vaakasuurassa yläpää- hän vaikuttava pistevoima 300 N/m x kaidetolp- pien suurin välimatka. Ei saa syntyä pysyvää muodonmuutosta. Maksimi taipuma 30mm	Jännitys 147/235, Suurin siirtymä 15mm	Lujuus tarkastettu FEM lasken- nalla
SFS-EN ISO 14122-32	Käsijohteen on kestävä vaakasuurassa kes- kelle vaikuttava pistevoima 300 N/m x kaidetolp- pien suurin välimatka. Ei saa syntyä pysyvää muodonmuutosta. Maksimi taipuma 30mm	Jännitys 78/235, Suurin siirtymä 10mm	Lujuus tarkastettu FEM lasken- nalla
OMAT VAATIMUKSET	telineelle on hyvä nousta suihkupuhdistusletkun kanssa	puhaltajan kanssa katselmoitu 3D malli	
OMAT VAATIMUKSET	letkun esteetön liike	puhaltajan kanssa katselmoitu 3D malli	
OMAT VAATIMUKSET	suihkupuhallusraetta ei keräänny telineeseen	kaikki lattiapinnat ovat ritilää	Täyttää vaatimukset.
OMAT VAATIMUKSET	etäisyys käsiteltävään kappaleeseen 300-600 mm	etäisyys noin 500 mm	Täyttää vaatimukset.
OMAT VAATIMUKSET	liukkaus talvella	ritilä rakenne ei kerää vettä, kerääntynyt lumi poistettava	Täyttää vaatimukset.
OMAT VAATIMUKSET	mahdollinen maalaushallin 8 m leveästä ovesta	Leveys alle 5200 mm	Täyttää vaatimukset.
OMAT VAATIMUKSET	siirrettävissä 7,5 t trukilla		Täyttää vaatimukset.

OMAT VAATIMUKSET	ei saa kipata siirrettäessä	trukin piikeille valmistettu nostokotelo	Täyttää vaatimukset.
OMAT VAATIMUKSET	kestettävä trukilla nosto ja siirto	FEM - laskettu	Täyttää vaatimukset.
OMAT VAATIMUKSET	Käytettävät valmistusmenetelmät	rakenne katselmoitu valmistajan kanssa	Täyttää vaatimukset.
OMAT VAATIMUKSET	työvaiheissa tarvittavat piirustukset	piirustukset katselmoitu valmistajan kanssa	Täyttää vaatimukset.
OMAT VAATIMUKSET	käytettävän materiaalin tiedot	tiedot välitetty rakentajalle	Täyttää vaatimukset.
OMAT VAATIMUKSET	telineen kuljetus käyttöpaikalle	huomioita kuljetettavuus suorittamalla loppukoonpano vasta käyttöpaikalla	Täyttää vaatimukset.

SIIRRETTÄVÄ HIEKKAPUHALLUS- JA MAALAUSTELINE**HUOLTO- JA KÄYTTÖOHJEET**

- Nosta vain trukin piikeille tarkoitettu kotelosta
- Nosta teline tarpeeksi ylös. Jalat eivät saa osua maahan siirron aikana.
- Maksimi siirtonopeus 4 km/h (kävelyvauhti)
- Suojaetäisyys telineeseen siirron aikana 15 m
- Varmista telineen tukevuus siirron jälkeen
- Tarkista telineen rakenne silmämääräisesti siirron jälkeen
- Puhalluksen aikana on telineen alapuolella työskentely kielletty
- Telineellä saa työskennellä maksimissaan 3 henkilöä

Tekniset tiedot

Työtason korkeus 2,4 m

Koko 5,7×4,9 m

Paino 2190 kg

Valmistusvuosi 2016

Korjaus- ja huoltomaalaus

Korjausmaalaus voidaan suorittaa paikkamaalauksena. Pienet vauriot laikataan esikäsittelyasteeseen St2. Puhdistetun alueen rajausta tehdään jouhevasti. Paikkauskohdat pohja- ja pintamaalataan täyteen kalvonpaksuuteen asti.

Pohjamaali EPOCOAT 21 Primer valkoinen 1×80 µm

Pintamaali NORMADUR 65 HS RAL 1021 1×80 µm